
走査レンズ複屈折測定装置の開発

Development of the Birefringence Measuring System for Scanning-lens

森田 展弘*

Nobuhiro MORITA

要 旨

大口径でかつ形状が複雑な走査レンズの複屈折を0～2500nmという広いレンジで測定可能な装置の開発を、分割測定法および被測定レンズパワーを補償する照射光学系の採用等により行った。一般に成形加工により製作されるプラスチックレンズは残留歪みによって内部に複屈折が発生し、レンズ性能を劣化させる原因となっているが、走査レンズは、光ディスク基板、ピックアップレンズなどに比べ大口径でかつ形状が複雑なため、従来装置では測定できず、目視にて定性的に評価が行われてきた。高画質化の流れにより高品質なレンズが要求される今日、目視では対応が不十分であり、開発された本装置による定量的な計測が期待されている。

ABSTRACT

A new system able to evaluate the birefringence of scanning-lenses quantitatively is developed adopting the shearing system of measurement and compensating optical path. Birefringence of plastic scanning-lenses deteriorates quality of the optical system, and it is difficult to measure birefringence using a measuring system due to its large aperture and complicate shape of scanning-lenses. It was common to evaluate the birefringence of scanning-lenses qualitatively, where as the new system has wide range of evaluation of birefringence, such as 0～2500nm, for high quality lenses.

*

研究開発本部

生産技術研究所

Manufacturing Technology Research and Development Center

Research and Development Group

1. 背景と目的

レーザープリンター等に使用される走査レンズとして、現在プラスチック成形レンズが普及している。プラスチック成形加工には、複雑な形状の部品でも高い効率で生産できるという長所がある反面、加工過程で生じる残留歪みによって、加工部品内部に複屈折が発生するという欠点がある。走査レンズにおける複屈折は、書き込み光学系の結像性能を劣化させる原因となる。

複屈折測定法としては、エリプソメーターに代表される点測定法¹⁾が知られているが、被測定レンズ透過光(信号光)の受光が困難であることや、膨大な測定時間を要する等の理由で実用的ではなかった。また複屈折の面内分布を測定する面測定法²⁾³⁾も報告されているが、被測定レンズパワーの補償方法、測定レンジの狭さ等の課題があり、走査レンズの測定に適用することはできなかった。そのため走査レンズの複屈折評価は、Fig.1に示すような光弾性干渉縞を目視で判別する定性評価により行われてきた。しかし高画質化の流れに伴い走査レンズの品質向上が求められるようになり、定量評価への要求が高まってきた。

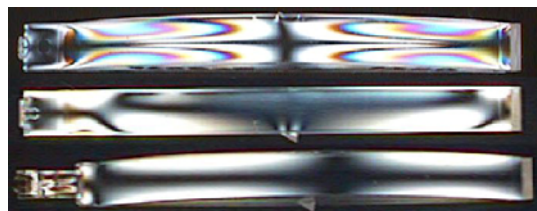


Fig.1 Photo-elastic interference fringes.

そのような要求に応えるべく、走査レンズの複屈折測定装置を開発したので、装置構成、測定結果などについて報告する。

2. 測定原理

2-1 装置構成

Fig.2に測定装置の構成を示す。光源には波長635nmの半導体レーザーを使用している。光源からの光は、偏光子、1/4波長板を通過し、顕微鏡対物レンズにより球面波に変換されて被測定レンズに照射される。スペイシャルフィルターによ

りフレア光などの不要な光は除去される。顕微鏡対物レンズとスペイシャルフィルターは光学系の光軸方向に可動となっており、顕微鏡対物レンズと被測定レンズとを所定間隔に設定することによって、被測定レンズのパワーを補償した平行光が得られる構成となっている。

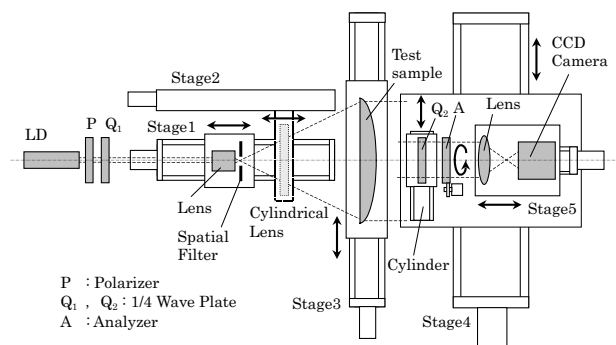


Fig.2 Schematic diagram of birefringence measuring system.

被測定レンズを通過した光は、1/4波長板、検光子を通過した後、結像レンズを通過してCCDカメラに到達する。結像レンズは被測定レンズとCCDカメラとが共役関係になるように配置してある。1/4波長板、検光子、結像レンズ、CCDカメラは、一体化したユニットとして測定光学系の光軸と直交する方向に可動となっており、測定ではこのユニットを移動させながら被測定レンズの全面を分割測定して、それらをつなぎ合せて出力する。また先のユニット移動に連動させて、結像レンズ、CCDカメラ、被測定レンズ各々の間隔が一定に保たれるように、結像レンズとCCDカメラとを、被測定レンズの曲率に合わせて測定光学系の光軸方向に移動させることにより、ユニット移動に伴う結像光学系の焦点ずれを防いでいる。

被測定レンズが長手方向と短手方向とで曲率の異なるような非軸対称なレンズの場合は、被測定レンズへの照射光学系にシリンドリカルレンズを付加し、その位置を設定することによって被測定レンズのパワーを補償する。また被測定レンズの曲率半径が大きい場合(本装置では300mmを超える場合)は、顕微鏡対物レンズと対でアフォーカル系を構成するレンズを、Fig.2のシリンドリカルレンズの位置に加え、平行光を被測定レンズに照射する。そして先のユニット移動の代わりに被測定レンズを測定光学系の光軸と直交する方向に移動させて分割測定を行う。それにより装置の大型化を避けた。

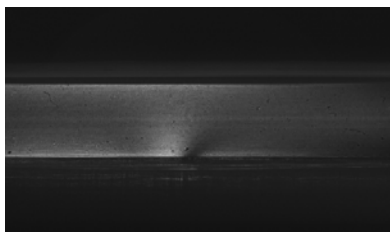


Fig.3 CCD image of a photo-elastic interference fringe.

2-2 検出原理

複屈折測定では、複屈折位相差と主軸方位を測定値とするが、本装置では、回転検光子法の原理を利用してそれらを求めている。

被測定レンズに照射した円偏光は、被測定レンズの複屈折により楕円化され、1/4波長板、検光子を通過することによって、被測定レンズの複屈折分布に対応した明暗分布となる(Fig.3)。回転検光子法の原理に基づき検光子を測定光学系の光軸周りに回転させると、回転に伴い明暗分布が変調されるため、CCDカメラの画素ごとでその光強度変化を検出して、複屈折位相差と主軸方位を求める。ただし通常のCCDカメラにはバイアス電圧が混在し³⁾、光強度変化の振幅データを使用できないため、偏光素子の設定を変えて得られる2通り以上の光強度変化の位相データを使用する。本装置では、1/4波長板を測定光学系の光軸と直交する方向に進退させて、1/4波長板の有無それぞれにおいて光強度変化の位相データを取得している。

検光子回転に伴う光強度変化は下式のように表わされる。

(1)、(2)式において、 I_1 は1/4波長板があるときの光強度、 I_2 は1/4波長板がないときの光強度、 δ は位相差、 ψ は主軸方位、 θ は検光子の回転角度を表わす。

$$I_1 = 1 - \cos \delta \cos 2\theta + \sin \delta \cos 2\psi \sin 2\theta \cdots \cdots (1)$$

$$I_2 = 1 - \sin \delta \sin 2\psi \cos 2\theta + \sin \delta \cos 2\psi \sin 2\theta \cdots \cdots (2)$$

I_1 、 I_2 の光強度変化をそれぞれfourier変換して得られる位相 ϕ_1 、 ϕ_2 は、(1)、(2)式との関係から次式のように表わされる。

$$\phi_1 = \tan^{-1}(-\tan \delta \cos 2\psi) \cdots \cdots (3)$$

$$\phi_2 = \tan^{-1}(-1/\tan 2\psi) \cdots \cdots (4)$$

したがって、

$$\delta = \tan^{-1}(\cos 2\psi / \tan \phi_1) \cdots \cdots (5)$$

$$\psi = \{ \tan^{-1}(1/\tan \phi_2) \} / 2 \cdots \cdots (6)$$

から被測定レンズの複屈折位相差、主軸方位を求めることが

できる。

2-3 測定レンジの拡大

走査レンズは肉厚が大きいため、複屈折位相差の発生レンジが大きい。また、複屈折位相差を(5)式により計算すると、結果は $-\lambda/4 \leq \delta \leq \lambda/4$ (λ :光源波長)のレンジに限定され、それをこえるような大きな複屈折位相差の測定値には、光源波長に関連する不確定性が含まれてくる。すなわち次式において、複屈折位相差の測定値 δ から絶対値 Δ を求めるための次数 m が特定できない。

$$\Delta = m \lambda / 2 \pm \delta \cdots \cdots (7)$$

本装置では、上述の測定レンジをこえるような大きな複屈折位相差の測定に対応するため、偏光の回転方向の検知と位相のアンラッピング処理を応用した測定レンジの拡大機能を付加している。

Table 1 Relationship between birefringence phase difference of test sample and polarized light state.

Phase difference	0	$0 \sim \lambda/4$	$\lambda/4$	$\lambda/4 \sim \lambda/2$	$\lambda/2$
Polarized Light State					
Phase difference	$\lambda/2$	$\lambda/2 \sim 3\lambda/4$	$3\lambda/4$	$3\lambda/4 \sim \lambda$	λ
Polarized Light State					

被測定レンズを通過した光の偏光状態と複屈折位相差との関係はTable 1のようになる。したがって偏光の回転方向を検知すれば、 $-\lambda/4 \leq \delta \leq \lambda/4$ のレンジを $-\lambda/2 \leq \delta \leq \lambda/2$ まで拡大できる。すなわち、受光側の1/4波長板を通過した光の偏光状態が右回り楕円でかつ被測定レンズ複屈折位相差 δ が正のときは $0 \leq \delta \leq \lambda/4$ とし、負のときは $-\lambda/2 \leq \delta \leq -\lambda/4$ とする。また1/4波長板を通過した光の偏光状態が左回り楕円でかつ δ が正のときは $\lambda/4 \leq \delta \leq \lambda/2$ とし、負のときは $-\lambda/4 \leq \delta \leq 0$ とする。

次に、CCDカメラの隣接画素における λ の段差を検出し、補正する位相のアンラッピング処理を行う。それらにより光源波長の制限を受けない広い測定レンジを得ることができる。Fig.4に一次元の複屈折位相差分布における測定レンジ拡大

処理の様子を示すが、横軸はCCDカメラにおける測定位置、縦軸は複屈折位相差を表わしている。Fig.4におけるProcess1は $-\lambda/2 \leq \delta \leq \lambda/2$ までの拡大処理を表わし、またProcess2は位相のアンラッピング処理を表わしている。

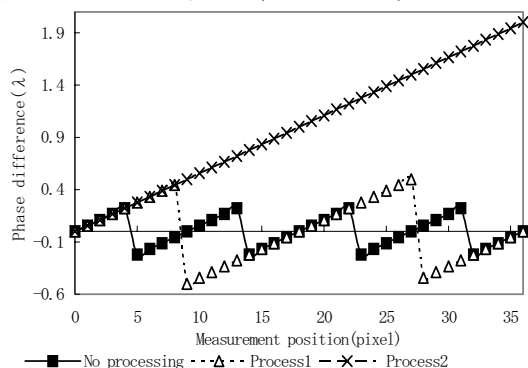


Fig.4 Measurement range extension

2-4 面内分布の絶対測定

前項まで示した方法での測定値は、任意に設定した基準位置での測定値に対する相対値であり、基準位置での測定値が既に $-\lambda/4 \leq \delta \leq \lambda/4$ のレンジをこえている場合も考えられるため、絶対測定値とはいえない。本装置では、基準位置での複屈折位相差の絶対値を、別途、光弾性干渉縞の干渉色をもとに推定し、基準位置での波長の次数を特定することによって、複屈折位相差面内分布の絶対測定を可能としている。

Fig.5に干渉色から絶対値を推定するための構成を示す。白色光を光源とし、1/4波長板を介して円偏光を被測定レンズに照射することにより、方位の影響を受けず、複屈折位相差のみに起因する干渉色を得ることができる。干渉色と位相差とはニュートンカラーズケール等でその関係が把握できるため、観察される干渉色から位相差の絶対値が推定できる。多波長光源であるため、1/4波長板の作用に多少の誤差が生じるが、次数の位相差レベル $\lambda/2$ に対しては十分小さいため無視できる。また被測定レンズの光軸付近は、場所による複屈折位相差の変化幅が小さく、それに伴い干渉色もゆるやかに変化するため、その付近を基準位置とすれば、干渉色と位相差の絶対値との対応が容易にとれる。このように推定した基準位置における位相差の絶対値と測定レンジ拡大後の面内分布測定結果とを結びつけることにより面内分布の絶対測定値を得ることができる。

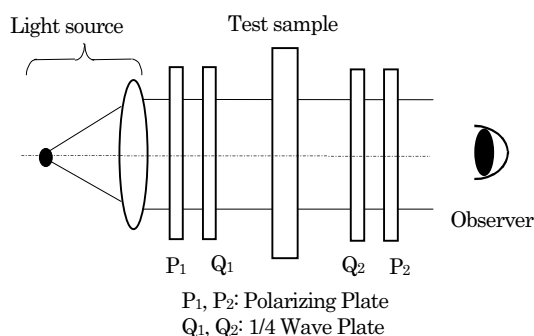


Fig.5 Absolute measurement of two dimensional distribution of birefringence phase difference.

3. 測定結果

3-1 精度の確認

測定精度 ξ を次式で定義した。

$$\xi = \xi_1 + 3\sqrt{(\xi_2^2 + \xi_3^2)} \dots\dots\dots (8)$$

$\xi_1(\text{nm})$: 既定値との差の最大値

$\xi_2(\text{nm})$: CCDの画素ごとの測定ばらつき(標準偏差 σ)

$\xi_3(\text{nm})$: 繰り返し測定時のCCD単一画素での測定ばらつき(標準偏差 σ)

測定は、被測定物なし、複屈折位相差11.2nm、複屈折位相差158.2nmの条件で行った。Table 2に各サンプルにおける ξ_1 、 ξ_2 および ξ_3 の測定結果一覧を示す。それぞれの最大値を(8)式に代入すると $\xi=5.83(\text{nm})$ となり、当社で設定した要求仕様を満足している。本装置の仕様をTable 3に示す。

Table 2 List of experimental results.

	0nm-sample	11.2nm-sample	158.2nm-sample
ξ_1	2.31nm	0.39nm	2.30nm
ξ_2	0.89nm	1.03nm	0.87nm
ξ_3	0.44nm	0.56nm	0.40nm

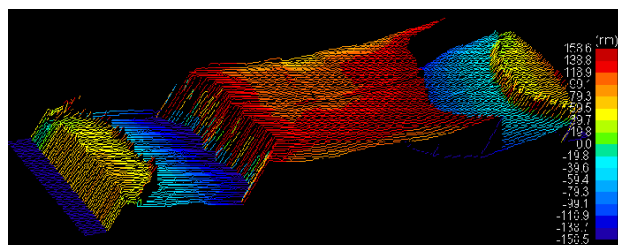
Table 3 Specifications.

Accuracy	5.83 (nm)
Spacial measurement range	300×30(mm)
Measurement range	0~2500(nm)

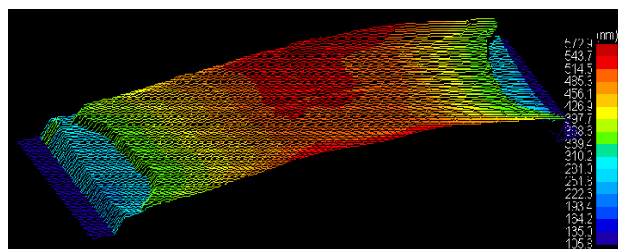
3-2 走査レンズの測定

Fig.6(a)に、複屈折位相差の測定結果について、測定レン

ジ拡大処理前の鳥瞰図を示す。被測定レンズ全面にわたって測定値が得られているが、前述のように、測定レンジが $-\lambda/4 \leq \delta \leq \lambda/4$ に限定されているため、それに伴う段差が観察される。Fig.6(b)に測定レンジ拡大処理後の鳥瞰図を示すが、段差が補正され、広い測定レンジが得られていることがわかる。



(a) Wrapped values without range extension.



(b) Unwrapped values by range extension.

Fig.6 Birds-eye views of birefringence phase difference distribution of scanning-lenses.

3-3 応用

複屈折面内分布を広いレンジで測定できるという本装置の特徴を利用して、以下のような実験を試みた。

走査レンズに外力を加えて歪みを与え、歪みを与えた位置にレーザービームを照射して、結像位置におけるビームプロファイル変化の様子と走査レンズにおける複屈折の発生状況を調べた。Fig.7, Fig.8は、実験のための部材および構成である。

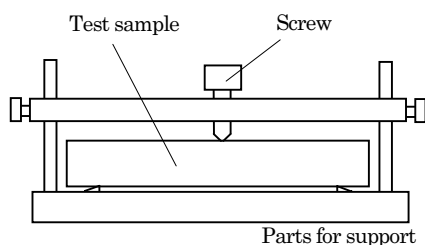


Fig.7 Parts for support.

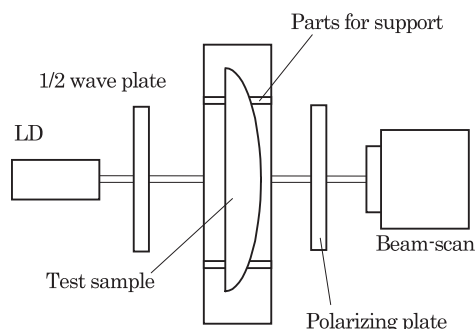


Fig.8 Experimental setup.

サンプルにはポリカーボネイトを材料とする走査レンズを用い、Fig.7のようにその中央付近をネジで押すことによって歪みを与えた。Fig.8において、1/2波長板は照射光の偏光方位を変化させるために、また偏光板は透過光の偏光方位を調べるために設置してある。光源の半導体レーザーには波長635nmのものを使用し、またビーム径測定にはPhoton社BeamScanを使用した。Fig.9(a)(b)は、外力の有無によるレンズ短手方向におけるビームプロファイルの違いを示している。光強度ピークの $1/e^2$ におけるビーム径出力は、それぞれ $36.0 \mu\text{m}$ 、 $83.3 \mu\text{m}$ であった。外力がある場合、結像位置でのビームが面内で分離しており、それらが合成されることによってビーム径が大きくなっている。Fig.9(c)(d), Fig.9(e)(f)は、外力の有無におけるビームが透過した付近の複屈折位相差面内分布および断面分布である。断面分布は面内分布測定結果におけるA-A'断面のものである。外力を加えていないときに比べて、外力を加えたときの分布の勾配が大きくなっており、そのビーム分離への寄与が推察される。また外力を加えた場合は複屈折の主軸方位と照射ビームの偏光方位は45度をなしており、分離したビームの偏光方位は互いに直交している。複屈折の主軸方位と照射ビームの偏光方位とのなす角度が0度のときは、結像位置でのビームの分離はおこらないという結果が得られた。

以上、本装置の応用例として、複屈折とビームプロファイル変化との関係についての実験結果を紹介した。本装置を利用することにより、これまで困難であった走査レンズの複屈折の影響を定量化できる可能性を示した。

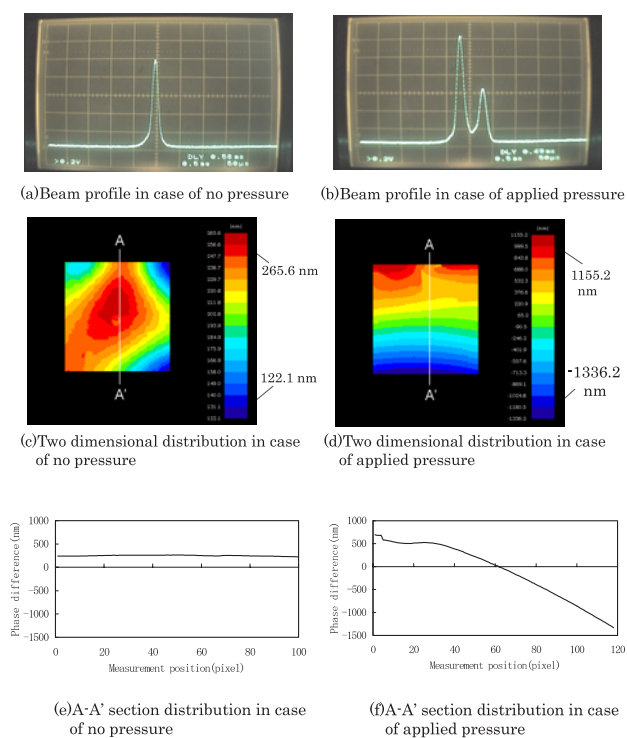


Fig.9 Confirmation of beam profiles.

4. まとめ

分割測定方法および被測定レンズパワーを補償する照射光学系の採用により、走査レンズが測定可能な複屈折測定装置を開発した。測定精度は5.83nm以下である。また光源波長により測定レンジを制限されるという課題に対して、位相のアンラッピング処理の応用により、複屈折位相差0～2500nmという広い測定レンジを実現した。

参考文献

- 1) 田幸敏治, 辻内順平, 南茂夫編: 光学的測定ハンドブック, 朝倉書店, (1981), pp.256-265,
- 2) 大谷幸利, 島田卓也, 吉澤徹, 梅田倫弘: 位相シフト法による2次元複屈折分布測定, 光学, 21, 10(1992), pp.682-687,
- 3) 野口正人, 石川剛: 複屈折空間分布測定法, 光技術コンタクト, 31, 5(1993), pp.241-246,

注1) BeamScanは米国Photon社の商標です。